

УДК 541.49:581.1

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСОНОВ, ПРОИЗВОДНЫХ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ, НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ

Ю.Е. СВЕТОГОРОВ,<sup>1</sup> Т.И. СМИРНОВА,<sup>2</sup> Я.М. ХАЛЯПИНА,<sup>2</sup> И.А. БЕЛЯЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия  
170904 Тверь, пос. Сахарово, ул. Василевского, 7

<sup>2</sup>Тверская государственная медицинская академия  
170100 Тверь, ул. Советская, 4

В лабораторных условиях исследовано влияние иминодиянтарной кислоты (ИДЯК) и этилендиаминдиянтарной кислоты (ЭДДЯК) на содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях проростков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Обнаружено, что предварительное замачивание семян в растворах ИДЯК и ЭДДЯК концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л не вызывало заметного изменения содержания пигментов в листьях проростков. Содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в листьях достоверно увеличивалось после выдерживания корневой системы проростков пшеницы в растворах ИДЯК и ЭДДЯК концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л в течение 1 недели.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., хлорофиллы *a*, *b*, каротиноиды, иминодиянтарная кислота, этилендиаминдиянтарная кислота.

Комплексоны металлов в течение нескольких десятилетий успешно применяются в растениеводстве в качестве микроудобрений [2, 4, 5, 7, 9–11]. Их эффективность и уровень экологической безопасности в значительной степени зависят от природы лигандов в составе комплексонов.

При изучении биохимического и физиологического действия конкретного комплексонона на растительный организм исследователи, как правило, основное внимание обращают на пути усвоения катионов металла и второстепенное — на метаболизм лигандов. Если для таких широко применяемых комплексонов, как этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТУК), нитрилтриуксусная кислота (НТУК) имеются некоторые сведения о метаболизме в растениях [5, 6], то комплексоны, производные янтарной кислоты (КПЯК), изучены в этом плане в значительно меньшей степени [2].

Поскольку весь комплекс жизненных проявлений зеленого растения тесно связан с процессом фотосинтеза, а фотосинтез — с уровнем содержания фотосинтетических пигментов, то по изменению содержания хлорофилла и каротиноидов, очевидно, можно оценивать характер воздействия внешних, в том числе химических, факторов, к числу которых относятся комплексоны и комплексоны.

В рамках исследования биологической активности КПЯК поставлен лабораторный опыт с целью выяснения способности этих соединений сорбироваться и усваиваться растительным организмом в форме некоор-

динированных анионов, а также их влияния на содержание фотосинтетических пигментов в растениях.

### Методика

Для опыта были взяты семена озимой пшеницы сорта Инна, предоставленные кафедрой растениеводства Тверской государственной сельскохозяйственной академии (ТГСХА, профессор З.И. Усанова).

Первая часть опыта состояла в выяснении эффективности 24-часового замачивания навески семян массой 10 г, взятой с точностью до 0,001 г, в растворах ИДЯК и ЭДДЯК концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л и объемом 100 мл.

Растворы комплексонных, синтезированных авторами статьи [3], подщелачивали концентрированным раствором NaOH (х.ч.) до pH 5,6 (рН-метр «рН-56») — уровня кислотности дистиллированной воды, контактирующей с воздухом. Контролем служили семена, замоченные в таком же объеме дистиллированной воды. Через 24 ч семена промывали небольшими порциями дистиллированной воды, промывную воду соединяли с соответствующими растворами, оставшимися после замачивания, и определяли остаточное содержание комплексонных титриметрическим методом с применением в качестве титранта 0,002 М раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  с индикатором мурексидом при pH 9,2 (аммонийный буфер).

Сорбтивную способность обоих комплексонных вычисляли по формуле [8]:

$$G = n/m,$$

где  $G$  — сорбция, мкмоль/г;  $n$  — количество сорбтива — комплексона, мкмоль;  $m$  — масса сорбента — семян пшеницы, г.

Набухшие промытые семена по 50 шт. каждого варианта опыта выкладывали на увлажненную фильтровальную бумагу в чашки Петри и проращивали в течение 10 сут при  $22 \pm 1$  °C и естественном освещении, увлажняя по мере надобности фильтровальную бумагу в чашках дистиллированной водой в одинаковых для всех вариантов опыта объемах.

Через 10 сут отбирали образцы листьев проростков, содержание пигментов в них (хлорофилла и каротиноидов) определяли спектрофотометрическим методом (фотометр КФК-3-01 «30МЗ»). В качестве экстрагента использовали 100 %-й ацетон (ос.ч.). Содержание пигментов рассчитывали по Веттштейну [1]. Результаты обработаны статистически по стандартным методикам [1].

Вторая часть опыта была посвящена выявлению возможности сорбции КПЯК корневой системой проростков озимой пшеницы. Для этого корневую систему пяти трехсуточных проростков, полученных методом «бумажных рулонов», погружали в растворы ИДЯК и ЭДДЯК концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, объемом 100 мл, а также в дистиллированную воду объемом 100 мл (контроль). Через 24 ч корневую систему проростков вынимали из растворов, промывали минимальными объемами дистиллированной воды и, соединив промывную воду с соответствующим раствором, из которого были изъяты проростки, измеряли общий объем жидкости и аналогично, как и в первой части опыта, определяли остаточное количество комплексонных в растворах проращивания.

Параллельно находили массу корневой системы проростков, изъятых из каждого стакана с раствором КПЯК или дистиллированной во-

дой, и по приведенной выше формуле рассчитывали сорбцию комплексонов корневой системой проростков.

Для определения влияния КПЯК, сорбированных корневой системой, на уровень содержания фотосинтетических пигментов трехсуточные проростки пшеницы доращивали в растворах ИДЯК, ЭДДЯК концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л и в дистиллированной воде (контроль) объемами по 100 мл в течение 7 сут. Затем по той же методике [1], что и в первой части опыта, определяли содержание фотосинтетических пигментов в листьях проростков.

Обе части опыта выполнены в пятикратной повторности.

### Результаты и обсуждение

Способность КПЯК сорбироваться семенами и корневой системой проростков озимой пшеницы, рассчитанная по результатам эксперимента, количественно представлена в табл. 1. Из приведенных данных видно, что оба лиганда семенами сорбируются практически одинаково. Микроколичества КПЯК, поглощенные семенами пшеницы, вызывают несущественное увеличение общего содержания зеленых пигментов, преимущественно хлорофилла *a*, и более значительное — каротиноидов по сравнению с контролем (табл. 2).

Предположение о том, что сорбированные КПЯК включаются в цепь естественных метаболических реакций проростка, подтверждено результатами второй части опыта. Вследствие лучшей сорбции ИДЯК по сравнению с ЭДДЯК корнями проростков содержание хлорофилла в листьях возрастает в большей степени.

Согласно результатам количественного определения пигментов, КПЯК, поглощенные семенами или корневой системой на первых этапах развития растений пшеницы, слабо влияют на уровень содержания хлорофилла *b*, но значительно повышают содержание хлорофилла *a* — основного фотосинтетического пигмента и суммы вспомогательных пигментов — каротиноидов. Следствием более длительной, семисуточной сорбции КПЯК корневой системой проростков по сравнению с 24-часовым поглощением этих веществ из раствора семенами является увеличение соотношения хлорофиллов *a/b*. При этом нельзя исключать и влияния некоторой разницы в уровне естественного освещения растений, поскольку первая и вторая части опыта проводились не одновременно, а последовательно.

По-видимому, оба комплексона, являющиеся по химической природе аминокислотами, в организме проростка подвергаются биохимической деструкции с образованием карбоновых кислот, более простых аминокислот и других продуктов не только нетоксичных для растения,

ТАБЛИЦА 1. Сорбция комплексонов из водных растворов концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, рН 5,6, объем раствора 100 мл за 24 ч ( $t = 22 \pm 1$  °С)

Сорбент	Сорбтив	Сорбция, мкмоль/г
Семена	ИДЯК	6,8±0,6
Семена	ЭДДЯК	7,1±0,5
Корневая система	ИДЯК	9,8±0,4
Корневая система	ЭДДЯК	8,8±0,4

ТАБЛИЦА 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях десятилетних проростков озимой пшеницы (мг/100 г сырого вещества) при различных вариантах обработки растительных комплексонов концентрацией  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, рН 5,6

Объект воздействия	Вариант	Хлорофилл						Каротиноиды	
		a		b		a + b		M±m	% контроля
		M±m	% контроля	M±m	% контроля	M±m	% контроля		
Семена	H <sub>2</sub> O (контроль)	69,4±0,3	—	25,1±0,3	—	94,4±0,3	—	14,6±0,8	—
Семена	ИДЯК	72,4±0,4	104	24,6±0,3	98	96,9±0,4	103	19,2±0,5	132
Семена	ЭДДЯК	76,6±1,0	110	24,0±0,1	96	100,6±1,0	107	20,0±0,7	137
Корневая система	H <sub>2</sub> O (контроль)	93,4±0,9	—	20,3±0,7	—	113,7±0,9	—	24,5±0,7	—
Корневая система	ИДЯК	126,8±0,4	136	18,9±0,5	93	145,7±0,5	128	29,6±0,3	121
Корневая система	ЭДДЯК	116,5±0,3	125	22,8±0,5	112	139,3±0,5	123	35,0±0,2	143

но и способных включаться в анаболические процессы развивающегося растения, что косвенно подтверждается увеличением суммарного количества как зеленых, так и желтых пигментов в опытных растениях по сравнению с контрольными.

В результате исследования установлена возможность поглощения ИДЯК и ЭДДЯК из водных сред в форме некоординированных анионов как набухающими семенами, так и корневой системой проростков озимой пшеницы, а также их действие, стимулирующее на первых этапах развития образование фотосинтетических пигментов в листьях.

1. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. — М.: Academia, 2003. — С. 46—54, 222—231.
2. Горелов И.П., Никольский В.М., Мухометзянов А.Г. и др. Комплексоны, производные дикарбоновых кислот // Химия в сельском хозяйстве. — 1987. — 25, № 1. — С. 48—49.
3. Горелов И.П., Самсонов А.П., Никольский В.М. и др. Синтез и комплексообразующие свойства комплексонов, производных дикарбоновых кислот. Синтез комплексонов, производных янтарной кислоты // Журн. общей химии. — 1979. — 49, № 3. — С. 659—663.
4. Груша В.В., Гудков И.М. Вплив мікроелементів та їх комплексонатів на продуктивність рослин і зниження накопичення радіонуклідів // Физиология и биохимия культ. растений. — 2007. — 39, № 5. — С. 432—437.
5. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. — М.: Химия, 1988. — С. 474—491.
6. Мартыненко Л.И., Кузьмина Н.П. О влиянии комплексонов на биосферу // Химия комплексонов и их применение. — Калинин: Калинин. гос. ун-т, 1986. — С. 15—17.
7. Островская Л.К. Комплексоны и их значение для питания растений микроэлементами // Физиология и биохимия культ. растений. — 1986. — 18, № 6. — С. 591—603.
8. Садовнича Л.П., Хухрянский В.Г., Цыганенко А.Я. Биофизическая химия. — Киев: Вища шк., 1986. — 174 с.
9. Усанова З.И., Киселева Г.В., Смирнова Т.И. Комплексоны микроэлементов и урожай картофеля // Картофель и овощи. — 2008. — № 3. — С. 10.

10. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н. и др. Этилендиаминдисукцинат магния как фактор повышения урожайности пшеницы // Вестн. Тверск. ун-та. Сер. Биология и экология. — 2008. — Вып. 10. — С. 98—101.
11. Vamerli T., Bandiera M., Mosca G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land // Environ. Chem. Lett. — 2010. — 8, N 1. — P. 1—17.

Получено 12.07.2010

#### ВПЛИВ КОМПЛЕКСОНІВ, ПОХІДНИХ БУРШТИНОВОЇ КИСЛОТИ, НА ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦІ

Ю.Є. Светогоров,<sup>1</sup> Т.І. Смирнова,<sup>2</sup> Я.М. Халіяпіна,<sup>2</sup> І.О. Беляєва<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тверська державна сільськогосподарська академія

<sup>2</sup>Тверська державна медична академія

У лабораторних умовах досліджено вплив імінодibuрштинової кислоти (ІДБК) та етилендіаміндибурштинової кислоти (ЕДДБК) на вміст хлорофілів *a*, *b* і каротиноїдів у листках проростків озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.). Виявлено, що попереднє замочування насіння в розчинах ІДБК та ЕДДБК концентрацією  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л помітно не змінювало вмісту пігментів у листках проростків. Вміст хлорофілу *a* і каротиноїдів у листках вірогідно збільшувався після витримування кореневої системи проростків пшениці в розчинах ІДБК та ЕДДБК концентрацією  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л протягом 1 тижня.

#### INFLUENCE OF COMPLEX COMPOUNDS-DERIVATIVES OF SUCCINIC ACID ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN WHEAT SPROUTS

Yu.E. Svetogorov,<sup>1</sup> T.I. Smirnova,<sup>2</sup> Ya.M. Khalyapina,<sup>2</sup> I.A. Belyaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tver State Agricultural Academy

7 Vasilevskogo St., Tver, satl. Sakharovo, 170904, Russia

<sup>2</sup>Tver State Medical Academy

4 Sovetskaya St., Tver, 170100, Russia

In vitro the influence of iminodisuccinic acid (IDS) and ethylenediaminedisuccinic acid (EDDS) on the content of chlorophylls *a*, *b* and carotenoids in the leaves of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) sprouts were studied. It was found that preliminary soaking of seeds in IDS and EDDS solutions with concentration  $1.5 \cdot 10^{-3}$  mol/l did not cause evident change in the leaf pigments of sprouts. Significant increase of chlorophyll *a* and carotenoids content in leaves was observed as a result of a week keeping of a root system of wheat sprouts in solutions of IDS and EDDS with concentration  $1.5 \cdot 10^{-3}$  mol/l.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., chlorophyll *a*, *b*, carotenoids, iminodisuccinic acid, ethylenediaminedisuccinic acid.